

NAZZARENO DIODATO - FILIPPO RUSSO

L'IMPATTO DEI NUBIFRAGI SULL'EROSIONE DEI SUOLI IN PROVINCIA DI BENEVENTO

APPLICAZIONE DI UN INDICE DI DEGRADO INTERPOLATO
MEDIANTE TECNICHE GEOSTATISTICHE (*)

Introduzione. – Tra i fenomeni che modellano il paesaggio appenninico con incidenza di tipo catastrofico, senza dubbio i nubifragi occupano un posto di rilievo a causa della particolare congiuntura che li caratterizza: eventi idrometeorologici a carattere temporalesco che investono un paesaggio notevolmente antropizzato determinando vari tipi di dissesto. Il nubifragio, quindi, non è semplicemente un fenomeno meteorologico, bensì un evento decisamente più complesso, che per essere classificato come tale necessita del concorso di altri fattori, come l'assetto geomorfologico del territorio, la copertura vegetale, le pratiche agricole, le tipologie infrastrutturali e antropiche presenti ecc.

Tra gli effetti che il nubifragio produce vi è quello della mobilitazione di suolo e della relativa perdita di funzionalità del sistema agricolo produttivo infrastrutturale. In tal senso, il manifestarsi di un nubifragio in una determinata area geografica rappresenta una concreta possibilità di dissesto o di degrado delle condizioni ambientali caratterizzanti l'area stessa e quindi, per quel che comporta, un elemento di sicura pericolosità.

Per le sue caratteristiche geoambientali il Sannio beneventano, che rappresenta l'area di studio di questa ricerca, ha da sempre sperimentato e con discreta frequenza l'effetto nefasto dei nubifragi, sia in termini di danno alle strutture e infrastrutture antropiche sia in termini di erosione dei suoli (che rappresentano una importante risorsa produttiva del territorio provinciale). In relazione a quest'ultimo aspetto bisogna considerare che nell'area, a partire dal dopoguerra, si è avuta una semplificazione nella maglia di equipaggiamento delle campagne, dovuta sia alla riduzione di siepi e macchie di campo sia all'uso indiscriminato della meccanizzazione agricola e di concimi chimici e biocidi, che sopravviene dopo una lunga fase di trasformazione storica del paesaggio agroforestale sannita ad opera dell'uomo (Diodato, 1999a). Anche se il proble-

(*) Per la pubblicazione di questo lavoro si è fruito di fondi di Ateneo – FAR 2002 e 2003 – e della Regione Campania – ex lr 41/94 – di cui è responsabile Filippo Russo.

ma del degrado ambientale è stato recentemente imputato a fattori non locali, come per esempio le variazioni climatiche (Ortolani e Pagliuca, 1994), tuttavia perdite di suolo variabili dalle 20 alle 40 t/ha⁻¹, con eccezioni che superano anche le 100 t/ha⁻¹, verificatesi per erosione in concomitanza di nubifragi, con frequenza di uno ogni due o tre anni, sono registrate regolarmente in Europa (Morgan, 1992). In Italia si è stimato che eventi pluviometrici estremi in grado di asportare notevoli quantità di sedimenti di suolo lavorato ricorrono in maniera quasi ordinaria (Chisci e altri, 1990; Bazzoffi e altri, 1997; Diodato, 1999b). Sembra dimostrato, in tal modo, che i nubifragi sono chiaramente elementi di pericolosità ambientale e che comportano inevitabilmente dei rischi per le aree che colpiscono.

L'obiettivo di questo lavoro è illustrare una metodologia per la classificazione del degrado delle superfici agricole causato dai fenomeni di nubifragio occorsi nella provincia di Benevento. A tal fine, un approccio geostatistico è stato usato per rappresentare la variabilità spaziale di un indice di degrado delle superfici agricole (*IDSA*) appositamente ricavato.

Generalità dell'area di studio. – Il territorio del Sannio beneventano, che coincide approssimativamente con i limiti amministrativi della provincia di Benevento, è prevalentemente collinare con poche aree montuose e ampi fondivalle. Non affaccia sul mare, ma gode di un clima mediterraneo con spiccata tendenza continentale, tipica delle aree interne appenniniche. E' attraversato da importanti fiumi (Calore, Fortore, Sabato, Tammaro) con numerosissimi tributari, che solcano un paesaggio di natura prevalentemente argillosa. Per queste caratteristiche geografiche, per la complessità litostratigrafica dei sedimenti affioranti e per l'elevata sismicità, questo territorio conosce fenomeni di dissesto idrogeologico, diffusi e talora particolarmente imponenti, che incidono talvolta negativamente, in termini di conservazione e gestione del suolo, sul tessuto socio-economico locale. Quest'ultimo è caratterizzato, tra l'altro, da vocazione agricola con sviluppo di seminativi e di colture specializzate altamente produttive (impianti frutto-viticoli e olivo-viticoli). Nel settore nord-occidentale dell'area di studio (area fortorina) sono documentate evidenze (Leone e Sommer, 1996) che i boschi hanno progressivamente ceduto il posto alle colture erbacee, mentre sono state lasciate incolte quelle zone dove le condizioni pedologiche e geomorfologiche non consentivano le lavorazioni. Il diboscamento e l'intensa antropizzazione ne fanno, nel complesso, un territorio fragile, assoggettato a processi morfogenetici accelerati, che si manifestano con diffusi e vistosi fenomeni erosivi (Diodato, 1999b; De Paola e Diodato, 1999).

Nel corso degli ultimi anni è stato osservato che la maggiore instabilità potenziale degli agroecosistemi beneventani ricorre in occasione di eventi idro-meteorologici di particolare intensità come i nubifragi. Questa instabilità si manifesta con l'innescare di processi erosivi che inaspriscono situazioni di dissesto locale, talora già critiche, determinate dagli interventi antropici e dalle caratteristiche geografiche dell'area. I periodi estivo-primaverili sono quelli in cui

ricorrono sistematicamente tali eventi, con durate variabili da poche decine di minuti a qualche ora. I nubifragi colpiscono di volta in volta località diverse del territorio beneventano con effetti erosivi maggiormente evidenti nel sistema idrografico torrentizio e in quello agro-forestale, caratterizzati da asportazione, talvolta, anche dell'intero strato di terreno fresato (nubifragio del 29 maggio 1999) o con manifestazione di fenomeni di instabilità come le frane (nubifragi dell'8 e del 29 luglio 1999). Quando il temporale è grandinifero (nubifragi del 14 maggio e dell'8 giugno 2000 e del 23 maggio 2001), le energie in gioco sono anche più elevate, tanto che i fenomeni innescati riescono a modificare il paesaggio stagionale con effetti devastanti: formazione di rivoli e canali di erosione che solcano i pendii, abbattimento delle messi, defoliazione di alberi, distruzione di frutteti e vigneti.

Raramente sono stati osservati nubifragi nel periodo invernale: tuttavia, questi si sono rivelati più estesi territorialmente e con effetti a più ampio raggio rispetto ai precedenti, tanto che in occasione dell'evento meteorologico del 13 novembre 1997 per l'intera provincia di Benevento, e per zone limitrofe, fu dichiarato lo stato di calamità naturale.

Metodologia di studio. – Analisi ed elaborazione dei dati. La regione del Sannio beneventano è stata divisa in $i = 1, \dots, n$ poligoni, cosiddette sub-regioni. Per ogni sub-regione è stato computato il numero ND_i ($i = 1, 2, \dots, 65$) di incidenza di nubifragi atteso nelle sub-regioni i . Il tasso di incidenza standardizzato, chiamato $IDSA$, è stimato usando la seguente relazione [1]:

$$IDSA_i = ND_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{SA_i}} \right)$$

dove $IDSA$ è applicato come indice qualitativo del distacco e successivo trasporto delle particelle di suolo lungo il versante; ND è l'inventario del numero di nubifragi occorsi in ogni sub-regione tra il 1981 e il 1999, e riferito all'archivio delle catastrofi naturali dell'Ispettorato all'Agricoltura di Benevento; SA è la superficie agricola di ogni sub-regione, ricavata dai dati relativi al censimento dell'agricoltura del 1990.

Dalla equazione [1] si evince che $IDSA$ rappresenta un indice qualitativo dell'impatto dei nubifragi sui terreni agricoli e lo si può immaginare come indicatore di degrado del complesso delle caratteristiche dei terreni agricoli: in questo caso, se le superfici agricole sono disposte su versanti o hanno pendenza diversa da zero (come si verifica nella maggioranza dei casi nell'area di studio), hanno luogo veri e propri fenomeni di erosione e mobilitazione del suolo con conseguenze negative per il già precario sviluppo socio-economico del territorio esaminato. Nella figura 1 è mostrata la distribuzione nell'area di studio dei 65 campionamenti del parametro $IDSA$.

Nella tabella 1 è riassunta la statistica di base della variabile presa in considerazione, mentre nella figura 2 è mostrata la sua distribuzione di frequenza. È evidente che la distribuzione dell'attributo in esame è multimodale e asimmetrica, quindi quello studiato non può essere considerato un campione «normale».

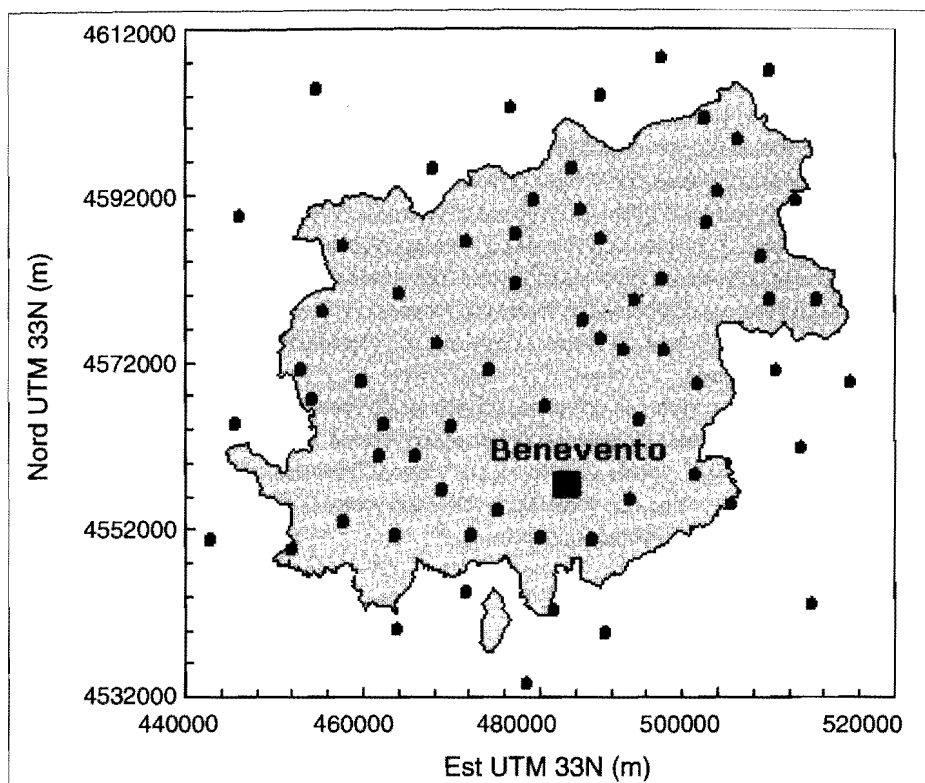


Fig. 1 – *Nubifragi nel Sannio beneventano: rappresentazione dell'area di copertura dei dati con l'indicazione dei campionamenti (punti) e dei limiti amministrativi della provincia di Benevento*

da un punto di vista statistico. Tuttavia, ciò non pregiudica il processo di stima per la realizzazione del cartogramma (Zucca e altri, 1999).

Analisi geostatistica. I tassi di incidenza standardizzati dei nubifragi (*IDSA_i*) occorsi durante il periodo 1981-1999 sono stati elaborati con tecniche geostatistiche (Bruno e Raspa, 1994; Castrignanò e Stelluti, 2001) al fine di stimarne la variabilità spaziale e di produrre delle mappe di interpolazione. La procedura seguita consiste fondamentalmente delle seguenti tre fasi consequenziali: *a)* analisi strutturale con: calcolo della «semivarianza» sperimentale per la

Tab. 1 – *Valori statistici dell'attributo IDSA su dati originari relativi ai nubifragi nel Sannio beneventano*

Siti campionati	65	Skewness	0,19676
Minimo	0	Kurtosis	2,1869
Massimo	3,5	Primo quartile	0,775
Media	1,4923	Mediana	1,6
Deviazione standard	0,89221	Terzo quartile	1,925

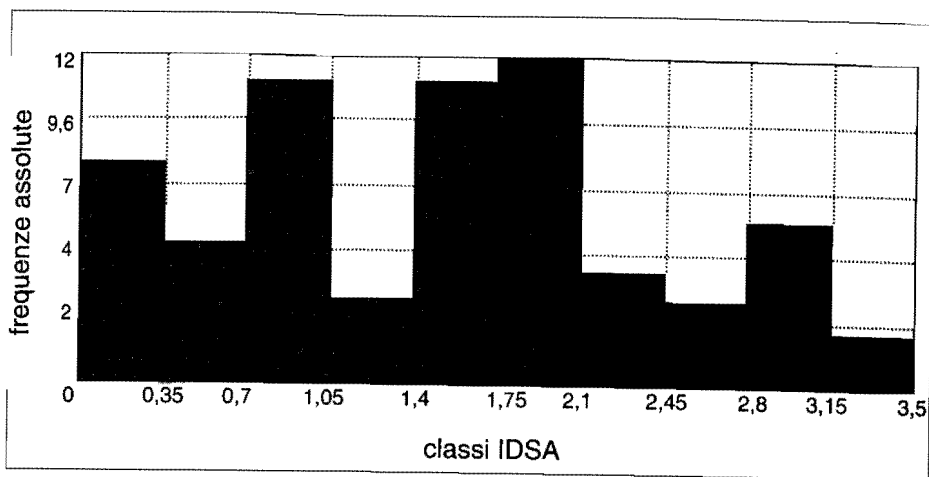


Fig. 2 – Distribuzione di frequenza dell'attributo IDSA su dati originari relativi ai nubifragi nel Sannio beneventano

variabile prescelta; e adattamento di uno dei modelli matematici consentiti ai valori di «semivarianza» precedentemente calcolati; b) valutazione della bontà della procedura eseguita mediante un *test* di *cross-validation*; c) uso di una tecnica di interpolazione lineare come il «kriging».

Nell'analisi dei dati spaziali, e in modo particolare di quelli climatico-ambientali, accade spesso che i valori osservati in alcune zone dell'area presentino maggiore variabilità rispetto a quelli osservati in altre zone. Un concetto della geostatistica classica è l'assunzione di continuità spaziale, che traduce l'idea plausibile che campioni vicini sono più simili di altri più distanti. Tra i diversi strumenti statistici che permettono di tradurre in termini formali e, quindi, di quantificare il grado di «similarità» tra i campioni, è la cosiddetta «semivarianza».

I valori di semivarianza $\gamma(h)$ sono stati calcolati sulle coppie di valori separati da tutte le possibili distanze h secondo l'espressione:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad i = 1, \dots, n(h)$$

dove $n(h)$ rappresenta il numero di coppie dei campioni separati dalla distanza h ; $Z(x_i)$ il valore campionato dell'attributo IDSA nella postazione x_i e $Z(x_i + h)$ e il valore dello stesso attributo nella postazione separata da x_i del vettore distanza h .

I valori di semivarianza in funzione di h (o semivariogramma) possono venire usati utilmente per indicare la natura della variabilità spaziale intrinseca ai campioni: se la variabilità risulta completamente casuale, allora i valori di semivarianza risultano approssimativamente costanti per qualsiasi valore di h ; al contrario, se l'ipotesi di continuità spaziale è plausibile, tali valori aumentano al crescere della distanza di separazione h fino al raggiungimento di un valore approssimativamente costante.

Per una descrizione quantitativa della variabilità spaziale e per scopi di interpolazione è necessario adattare al semivariogramma uno dei modelli matematici autorizzati, scelti tra le funzioni semi-definite positive che assicurano che le varianze di ogni combinazione lineare di funzioni sia non negativa. L'adattamento della funzione si basa su una regressione pesata secondo il criterio di ottimizzazione ai minimi quadrati. Nel nostro caso si è usato il modello sferico dato dalla funzione:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases}$$

dove a , C_0 e C_1 sono parametri del modello noti, rispettivamente, come «Range», «Nugget» e coefficiente strutturale; quest'ultimo sommato al *Nugget* dà il «Sill» ($C_0 + C_1$). L'interpretazione fisica di questi parametri è che il *Range* rappresenta la distanza oltre la quale la variabilità dei campioni è completamente casuale; il *Nugget* è una stima della varianza in parte attribuibile ad eterogeneità a una scala più piccola dell'intervallo di campionamento e in parte a errore di misura; C_1 è un parametro non nullo solo se la variabilità è non casuale, e il *Sill* è teoricamente uguale alla varianza campionaria totale.

Per verificare la bontà di adattamento del modello prescelto è stata seguita la procedura di *cross-validation*. Questa consiste in un processo iterativo in cui ad ogni fase una osservazione alla volta viene eliminata e stimata utilizzando i restanti campioni. Il valore stimato e quello osservato vengono confrontati, e la loro differenza costituisce l'errore sperimentale. L'insieme complessivo dei loro valori può venir analizzato secondo tre statistiche: a) la media aritmetica dell'errore sperimentale (*AMEE*); b) l'errore quadratico medio (*MSE*); c) l'errore quadratico medio standardizzato (*MSSE*). I valori di *AMEE* dovrebbero essere vicini a 0 (assenza di errore sistematico), come quelli di *MSE*, mentre quelli di *MSSE* dovrebbero essere prossimi all'unità. Di seguito si riportano le tre relazioni statistiche:

$$AMEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z^*(x_i)]$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2$$

$$MSSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{[Z(x_i) - Z^*(x_i)]^2}{\sigma_k(x_i)} \right\}$$

dove N è il numero di punti misurati, $Z(x_i)$ è il valore misurato nel punto x_i , $Z^*(x_i)$ è il valore stimato nello stesso punto x_i ottenuto usando i restanti $N - 1$

valori misurati e $\sigma_k(x_i)$ è la deviazione *standard* di *kriging* nel punto x_i .

La fase finale dell'approccio geostatistico consiste nell'interpolazione dei valori di *IDSA* secondo una griglia prefissata, usando il *kriging* puntuale ordinario, che utilizza i modelli di semivariogramma e i campioni di *IDSA* per stimarne i valori in punti ove non si hanno osservazioni. I dati interpolati, indicati con $Z(x_0)$, sono ottenuti dalla espressione lineare:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

in cui N rappresenta il numero dei punti misurati x_i usati per l'interpolazione nel punto x_0 ; $Z(x_i)$ i valori misurati di *IDSA* nei punti x_i ; λ_i i fattori peso che dipendono dal modello di semivariogramma adattato e dalle posizioni relative dei punti di osservazione. Il *kriging* utilizza i risultati della precedente analisi strutturale, relativi alle caratteristiche di continuità della variabile misurata, più l'informazione sulla geometria dell'intorno utilizzato per l'interpolazione. In sintesi, il *kriging* rappresenta un miglioramento rispetto agli interpolatori lineari tradizionali, poiché prende in considerazione la struttura spaziale e tiene conto della effettiva ridondanza dei dati (autocorrelazione spaziale) al fine di ridurre l'errore di stima. Fornisce, inoltre, oltre al valore stimato – proprietà di non poco conto – anche la sua varianza, che può essere assunta, nel caso di distribuzione gaussiana, come una misura della sua affidabilità.

Elaborazione geostatistica. L'analisi geostatistica è stata svolta utilizzando la procedura *friendly* per PC-Windows presente in rete (www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/vesper/vesper.html) a cura dell'ACPA, Australian Centre for Precision Agriculture, mentre le stime di *kriging* sono state trasferite nel GIS ArcView 3.2 della ESRI per la produzione della relativa carta.

Al fine di risolvere lo schema di campionamento e la non stazionarietà dell'indice di degrado, si sono adottate le seguenti strategie: *a*) si è assunto che il variogramma fosse stazionario e noto (ipotesi di intrinsecità); *b*) si sono considerati intorni mobili non troppo ampi, in modo da soddisfare almeno localmente la stazionarietà; *c*) è stato, inoltre, calcolato un semivariogramma isotropo, considerando solo i moduli delle distanze tra le osservazioni, in quanto il ridotto numero di queste ultime, unito all'irregolarità della loro distribuzione, non consentiva una verifica affidabile di eventuali anisotropie. A questo proposito bisogna ricordare come diversi autori (Shua e Bras, 1980) ritengono che la struttura meteorologica di un temporale non è isotropa; tuttavia, poiché, nel caso in questione, i fenomeni sono stati aggregati su tempi lunghi (19 anni), ci si aspetta una minor variabilità spaziale rispetto all'evento individuale. L'ipotesi di isotropia appare quindi plausibile, anche se è irragionevole pretendere che il campionamento adoperato possa fornire allo stesso livello di precisione informazioni su fenomeni di breve durata (come per esempio le precipitazioni orarie o giornaliere).

Al semivariogramma sperimentale è stato quindi adattato un modello matematico, la cui bontà è stata verificata secondo il criterio Akaike (*Akaike Infor-*

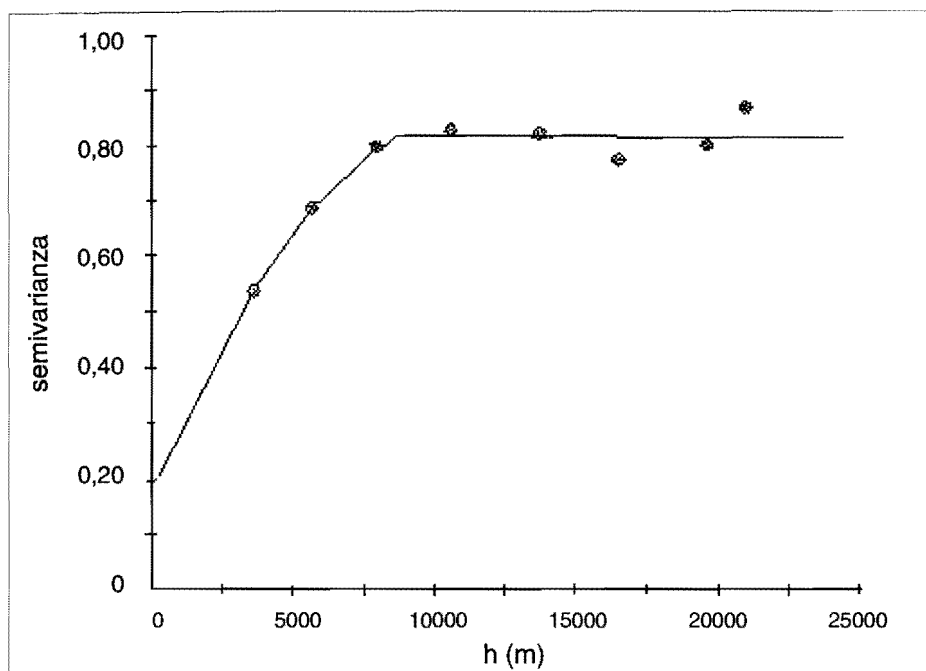


Fig. 3 – Semivariogramma sperimentale (punti) e teorico (curva) relativo all'attributo IDSA per i nubifragi nel Sannio beneventano

ation Criteria) implementato nel software VESPER (Variogram Estimation and Spatial Prediction with Error) sviluppato dall'ACPA. Il semivariogramma di IDSA è stato calcolato ad intervalli (*lag*) di 3.000 m, il che assicurava la presenza di un sufficiente numero di coppie di punti sperimentali per ciascuna classe di *lag*. Tale calcolo è stato esteso per una distanza massima di 24.000 m, corrispondente approssimativamente a metà della massima dimensione dell'area di studio (fig. 3).

Al semivariogramma sperimentale è stato adattato un modello sferico, i cui parametri risultano: *Nugget* = 0,19437; *Range* = 7.000 m e *Sill* = 0,57266 (γ^2).

Il semivariogramma di figura 3 risulta discretamente strutturato, il che denota un leggero grado di discontinuità della variabile IDSA per distanze inferiori a 7.000 m, dovuto alla forte variabilità spaziale della fenomenologia a corto raggio. Il valore del *Range* è compatibile con il raggio (<7.000 m) dell'area investita da fenomeni che hanno un'origine e un'evoluzione locale, propria delle celle temporalesche termoconvettive foriere dei nubifragi tipicamente esaminati in questo studio.

La *cross-validation* ha provato un buon adattamento del modello di variogramma scelto, essendo risultati gli errori *AMEE* (0,01) e *MSSE* (0,91) sufficientemente vicino a 0 e 1, rispettivamente.

Il modello di variogramma precedentemente descritto è stato quindi utilizzato nella fase successiva di interpolazione con il *kriging* ordinario, permettendo la generazione della carta (fig. 4) di stima e distribuzione areale dell'IDSA.

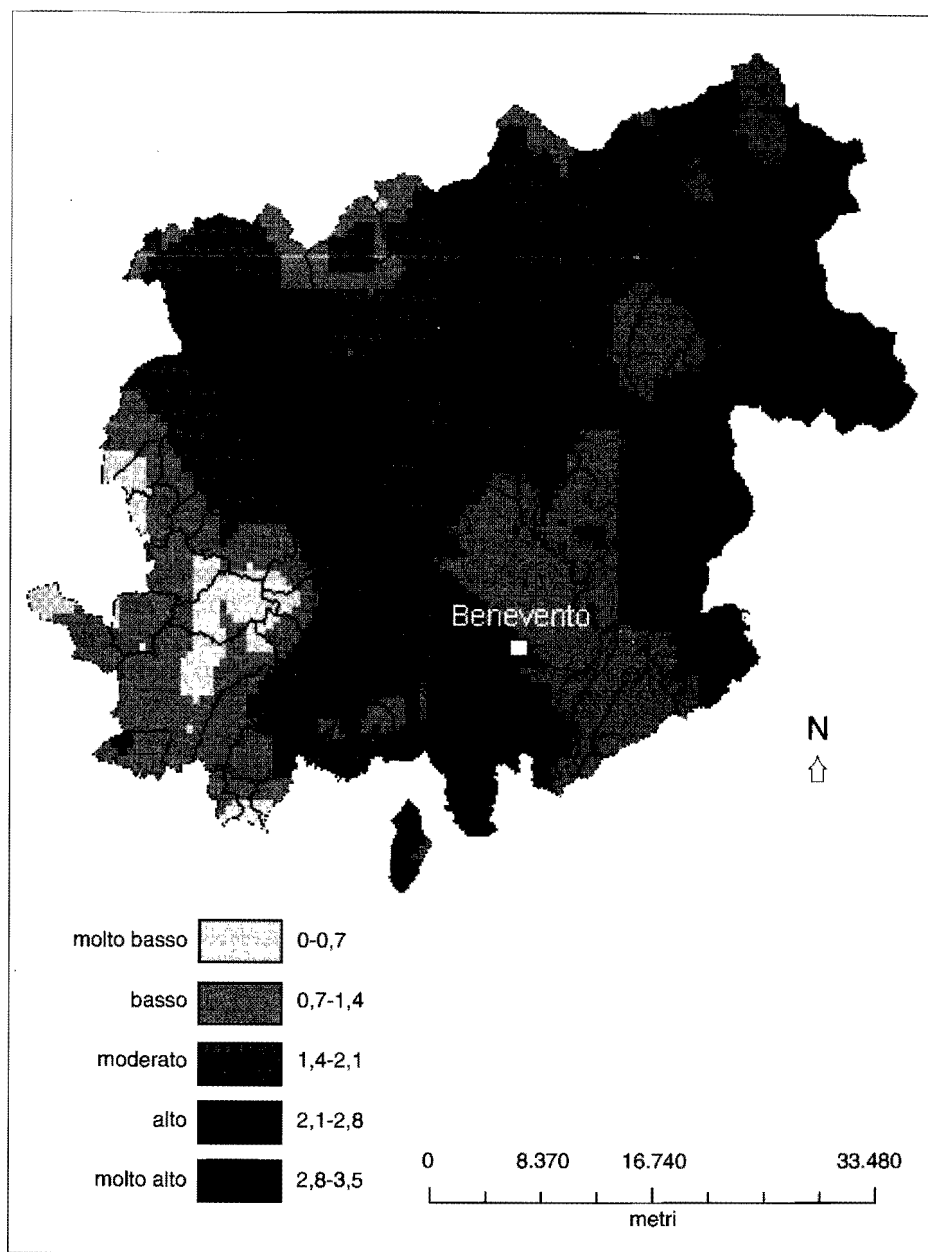


Fig. 4 – *Carta dell'Indice di Degrado delle Superfici Agricole nella provincia di Benevento*

Interpretazione dei dati e conclusioni. — Nella carta di figura 4 si individuano aree a diverso indice di degrado e senza dubbio queste sono anche aree che potenzialmente, in conseguenza del manifestarsi dei nubifragi, sperimentano più frequentemente erosioni e/o, in generale, danneggiamenti. Dal punto di vista più strettamente geomorfologico, pare evidente che proprio in queste aree esiste un più elevato potenziale di predisposizione verso i processi erosivi e specialmente verso quei processi legati all'impatto delle piogge e al ruscellamento idrico diffuso o concentrato. Si tratta quindi di aree con accelerata dinamica evolutiva del paesaggio, specialmente quello di tipo agricolo-forestale.

Ma una tale interpretazione dei dati acquisiti ed elaborati ravvisa anche, e palesemente, uno stato di pericolosità (*sensu* Russo e Valletta, 1993) per queste aree, che si manifesterebbe a intervalli temporali, considerando la particolare fenomenologia meteorologica trattata, con cadenza almeno stagionale. Tra l'altro va considerato che, data la provenienza dei dati (Archivio dell'Ispettorato dell'Agricoltura di Benevento, STAPA-Cepica, Regione Campania) e l'analisi *a priori* degli stessi, si è potuto appurare con certezza che i nubifragi trattati hanno prodotto effettivamente, con impatto localizzato, diffusi fenomeni erosionali oltreché danneggiamenti di vario tipo ed entità a strutture e infrastrutture antropiche. In relazione a quest'ultimo fatto si palesa, quindi, anche uno stato di rischio ambientale (*sensu* Russo e Valletta, 1993) cui sono soggetti particolarmente i territori del Sannio beneventano maggiormente e con frequenza interessati da questa fenomenologia.

Inoltre, da un primo e preliminare confronto di quanto riportato nella carta di figura 4 con altre elaborazioni, note in letteratura, delle principali caratteristiche geoambientali dell'area di studio (carta della vegetazione, carta geologica, carta pedologica ecc.), si evince che le aree maggiormente interessate da nubifragi sono anche caratterizzate da litologie particolarmente sensibili all'erosione (formazioni arenacee-argilloso-marnose) o da situazioni agricole caratterizzate da pratiche agricole precarie o inadeguate, oltreché da assenza o scarsità di idonee sistemazioni idraulico-forestali. Comunque, questo resta un aspetto ancora non del tutto investigato, ma senza dubbio meritevole di un ulteriore adeguato approfondimento al fine di relazionare l'incidenza dei nubifragi, accertati con questa nota, con le caratteristiche geoambientali dell'area di studio, evidenziando le possibili conseguenze in termini di pericolosità e rischio ambientale. Questo risultato potrebbe essere ottenuto con stime più attendibili che necessitano uno schema di campionamento più fitto o l'utilizzo di tecniche più complesse, come quelle della geostatistica multivariata. Inoltre, per l'eterogeneità geomorfologica del territorio esaminato, sarebbe auspicabile uno studio più dettagliato, al fine di potere investigare il problema a una scala spaziale maggiormente appropriata e compatibile con la natura dei processi di degrado dei suoli o più in generale delle superfici utilizzate per fini agricoli.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BACCHI B., *Metodi di ristrutturazione e progetto delle reti pluviometriche*, Salerno, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dalla Catastrofi Idrogeologiche, 1996 (pubblicazione n. 1620).
- BAZZOFFI P. e altri, *Erosione e deflussi a scala parcellare e di bacino in suoli argillosi a diversa utilizzazione nella Val d'Era*, in «Agricoltura Ricerca», Roma, 1997, pp. 5-20.
- BRUNO R. e G. RASPA, *La pratica della geostatistica lineare*, Milano, Guerini, 1994.
- CASTRIGNANÒ A. e M. STELLUTI, *Applicazione della geostatistica all'analisi dei dati spaziali*, Perugia, Istituto Sperimentale Agronomico e Università degli Studi di Perugia, 2001.
- CHISCI G. e altri, *Monitoraggio agrometeorologico dei processi erosivi su versanti agricoli collinari (area pilota cesenate)*, in G. MARACCHI e M.A. FALCHI (a cura di), *Atti del Convegno «Agrometeorologia, Agricoltura e Ambiente» (Firenze 21-23 novembre 1989)*, CNR-Istituto di Analisi Ambientale e Telerilevamento Applicati all'Agricoltura, 1990, pp. 355-364.
- DE PAOLA P. e N. DIODATO, *Condizioni climatiche e paesaggi instabili nell'Area Pluviometrica Omogenea della media Valle del Calore beneventano*, in «Geologia Tecnica e Ambientale», Roma, 1999, pp. 33-48.
- DI GIAIMO A. e altri, *Carta dell'erosione potenziale massima della Comunità Montana «Fortore beneventano»*, in «Annali della Facoltà di Scienze Agrarie dell'Università di Napoli», Portici, 1993, pp. 20-35.
- DIODATO N., *Mappatura cartografica dell'areale bioclimatico nella storia del paesaggio agro-forestale del Calore beneventano*, in «Documenti del Territorio», Roma, 1999 (a), pp. 37-45.
- DIODATO N., *Impatto dell'uso agricolo del suolo sull'instabilità geomorfologica dei paesaggi in provincia di Benevento*, in «La Provincia Sannita», Benevento, 1999 (b).
- LEONE A.P. e S. SOMMER, *Analisi spettrale dei suoli applicata al telerilevamento ambientale. Un caso di studio: il Fortore beneventano (Appennino meridionale)*, in «Bollettino della Società Italiana di Scienza del Suolo», Firenze, 1996, 8, pp. 107-133.
- MORGAN R.P.C., *Soil Erosion in the Northern Countries of the European Community, in EIW Workshop: Elaboration of a Framework of a Code of Good Agricultural Practices (Bruxelles, 21-22 maggio 1992)*.
- ORTOLANI F. e S. PAGLIUCA, *Variazioni climatiche e crisi dell'ambiente antropizzato*, in «Il Quaternario», Roma, 1994, pp. 351-356.
- POSTIGLIONE L. e altri, *Interventi finalizzati alla salvaguardia e all'utilizzazione del suolo nella collina interna della Campania*, in «Agricoltura Ricerca», Roma, 1997, pp. 51-62.
- RAPETTI V. e S. VITTORINI, *I venti piovosi a Legoli (Toscana) in relazione ai processi di erosione del suolo*, in «Atti e Memorie della Società Toscana di Scienze Naturali. Serie A», Firenze, 1972, pp. 150-175.
- RUSSO F. e M. VALLETTA, *Rischio ed impatto ambientale: considerazioni e precisazioni*, in «Bollettino del Servizio Geologico d'Italia», Roma, 1993, pp. 103-126.
- SHUA S.H. e R.L. BRAS, *Estimation for Stationary and non Stationary Random Field: Kriging in Analysis of Orographic Precipitations*, Boston, MIT Department of Civil Engineering e Ralph M. Parson Laboratory, 1980 (report n. 255).

VAN DER KNIJFF J.M., R.J.A. JONES e L. MONTANARELLA, *Soil Erosion Risk Assessment in Italy*, Bruxelles, European Commission e European Soil Bureau, 2000.

ZUCCA C. e altri, *Utilizzo di tecniche GIS e geostatistiche per la produzione di mappe del rischio erosivo*, in *Atti della III Conferenza Nazionale ASITA (Napoli, 9-12 novembre 1999)*, II, pp. 1269-1274.

THE IMPACT OF RAINSTORM ON SOIL EROSION IN BENEVENTO PROVINCE: INTERPOLATION OF A DEGRADATION INDEX BY GEOSTATISTICAL TECHNIQUES. – The geomorphological processes produced by surface waters runoff connected to violent rainstorms cause serious soil degradation on agricultural landscapes of Benevento Province. This work presumes that the occurrence of rainstorms is a key-indicator for the study of land degradation, on scale long-term observation in a 2.071 km² areas of Benevento province since 1981 to 1999. The excessive space changeable data has allowed to make a right mapping of Agricultural Surface Degradation Index (*ASDI/IDSA*) aimed to individuate areas characterized from a different recurrence of the degradation phenomenon. The techniques applied to elaborate the dataset are the classic ones of the geostatistic survey and the precise ordinary kriging as technique of linear interpolation. The results outlined by the map of kriging indicate a strong spatial variability of the degradation indicator, and a considerable portion of land (30%) corresponding to hazard classes high to very high.

Benevento, Osservatorio Naturalistico «Monte Pino»

Benevento, Università del Sannio, Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali

filtrusso@unisannio.it